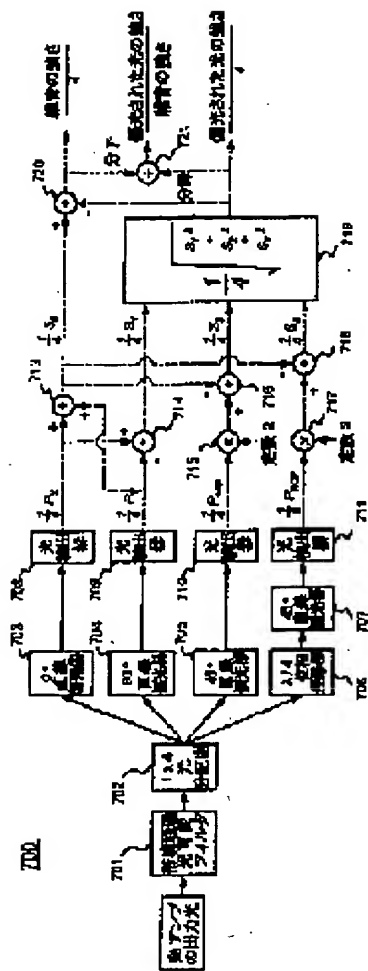


AN: PAT 2001-470198
TI: Optical signal to noise ratio measuring device for optical communication, measures stoke parameter for calculating strength of signal and noise from the output of distributor
PN: JP2001168813-A
PD: 22.06.2001
AB: NOVELTY - Filter (701) passes output light of different wavelength to distributor (702) when light from optical amplifier is input. Polariscopes (703-705,707) and delay device (706) calculates stoke parameters (S0-S3) from the output of the distributor. Signal strength and noise of the signal are measured, based on calculated stokes parameter. Divider (721) divides strength of noise and signal at different wavelengths based on measured strength of signal and noise. DETAILED DESCRIPTION - An INDEPENDENT CLAIM is also included for optical signal to noise ratio measuring method.; USE - For measuring signal to noise ratio used in optical communication. ADVANTAGE - Since the signal to noise ratio is measured based on calculated stokes parameter, measuring time is reduced, based on which light signal to noise ratio can be correctly measured with simple hardware. DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the block diagram of optical signal to noise ratio measuring device. (Drawing includes non-English language text). Filter 701 Distributor 702 Polariscopes 703-705,707 Delay device 706 Divider 721 Stokes parameter S0-S3
PA: (KOAD) HANKOOK KAGAKU GIJUTSUIN;
(KOAD) KOREA ADV INST SCI & TECHNOLOGY;
(KOKA-) HANKOOK KAGAKU GIJUTSUIN;
IN: CHOO G U; LEE C H; SHIN S Y; CHOO G W; CHU K U;
FA: JP2001168813-A 22.06.2001; JP3569217-B2 22.09.2004;
DE10049769-A1 06.09.2001; KR2001037296-A 07.05.2001;
KR337132-B 18.05.2002; US6671045-B1 30.12.2003;
CO: DE; JP; KR; US;
IC: G01J-003/51; G01J-004/00; H04B-010/00; H04B-010/08;
H04B-010/16; H04B-010/17; H04B-010/18; H04B-017/00;
MC: S03-A02C; W02-C04; W02-C04C1; W02-C05;
DC: S03; W02;
FN: 2001470198.gif
PR: KR0044723 15.10.1999;
FP: 07.05.2001
UP: 28.09.2004

This Page Blank (uspto)



This Page Blank (uspto)



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 100 49 769 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
H 04 B 10/18

21 Aktenzeichen: 100 49 769.1
22 Anmeldetag: 2. 10. 2000
43 Offenlegungstag: 6. 9. 2001

DE 100 49 769 A 1

30 Unionspriorität:
10-44723 15. 10. 1999 KR
71 Anmelder:
Korea Advanced Institute of Science and
Technology, Taejon, KR

74 Vertreter:
Patentanwälte Gulde Hengelhaupt Ziebig, 10117
Berlin
72 Erfinder:
Erfinder wird später genannt werden

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung und Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands
57 der Spitzenwert ...

Die Erfindung betrifft allgemein optische Kommunikationssysteme und insbesondere betrifft sie eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands in optischen Kommunikationssystemen.
Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt (1) ein variables optisches Bandfilter (VOBPF), das den verstärkten Ausgangsstrahl passieren läßt, wenn die Wellenlänge des Ausgangsstrahls identisch mit der Durchlaßwellenlänge des VOBPF ist; (2) einen 1x4-Strahlteiler, der den Strahl, der den VOBPF passiert, in vier Teilstrahlen aufteilt; (3) Meßeinrichtungen zum Messen der Stokesschen Parameter S₀, S₁, S₂, S₃ aus den vier Teilstrahlen; (4) eine Recheneinrichtung zum Berechnen der optischen Signalleistung, um die Leistung der polarisierten Komponente des verstärkten Ausgangsstrahls aus den Stokesschen Parametern S₁, S₂, S₃ zu bestimmen; (5) eine Recheneinrichtung zum Berechnen der Rauschleistung, um die Leistung des im verstärkten Ausgangsstrahl vorhandenen Rauschens aus dem Stokesschen Parameter S₀ und der optischen Signalleistung zu bestimmen; und (6), eine Dividiereinrichtung, die aus der optischen Signalleistung und der Rauschleistung bei der Durchlaßwellenlänge

Optische Signalleistung

Rauschleistung

berechnet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung mißt

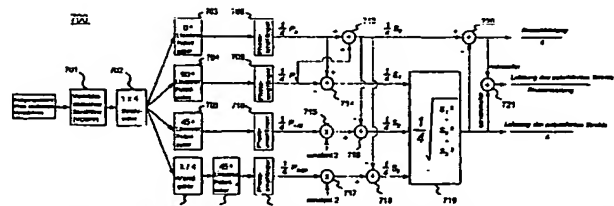
Optische Signalleistung

Rauschleistung

für den gesamten Spektralbereich, indem die Durchlaßwellenlänge des VOBPF verändert wird und findet letztendlich den optischen Signal-Rausch-Abstand eines optischen Signals dadurch, daß in der gemessenen graphischen Darstellung

Optische Signalleistung

Rauschleistung



DE 100 49 769 A 1

AUSGANGSSITUATION DER ERFINDUNG

Gebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft allgemein optische Kommunikationssysteme und insbesondere betrifft sie eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands in optischen Kommunikationssystemen.

Ein optischer Verstärker ist ein Gerät, mit dem optische Signale, unabhängig von der Übertragungsgeschwindigkeit oder dem Übertragungsformat der optischen Signale, ohne opto-elektrische/elektro-optische Wandlung verstärkt werden. Ein herkömmlicher optischer Sender verstärkt die Signale nach einer opto-elektrischen Wandlung und reproduziert optische Signale mittels elektro-optischer Wandlung. Der optische Verstärker ersetzt den herkömmlichen optischen Sender. Insbesondere kann der optische Verstärker gleichzeitig viele optische Signale unterschiedlicher Wellenlängen in einem breiten Band verstärken, und der optische Verstärker spielt eine wichtige Rolle in optischen Kommunikationssystemen mit Wellenlängenmultiplex (WDM). Um die Übertragungskapazität zu erhöhen, werden optische Signale auf mehreren Kanälen vielfach unterteilt mit unterschiedlichen Wellenlängen in optischen WDM-Kommunikationssystemen übertragen.

Stand der Technik

Der optische Verstärker erzeugt nicht nur die verstärkten optischen Signale, sondern auch ein breitbandiges Rauschen. Selbst wenn optische Filter eingesetzt werden, um das im Ausgangsstrahl des optischen Verstärkers vorhandene Rauschen zu beseitigen, können die Rauschanteile mit gleichen Wellenlängen wie die Nutzsignale nicht eliminiert werden. Der optische Signal-Rausch-Abstand, das heißt, die Leistung des optischen Nutzsignals dividiert durch die entsprechende Rauschleistung, wird als ein Maßstab für die Übertragungsqualität eines optischen Nachrichtenübertragungsnetzes benutzt. Und es ist unerlässlich, beim Management eines optischen Nachrichtenübertragungsnetzes auf optischen Leitungen oder an optischen Verzweigungspunkten (Knoten) den optischen Signal-Rausch-Abstand zu überwachen.

Fig. 1 stellt ein Leistungsspektrum des Ausgangsstrahls dar, wenn der optische Verstärker die gemultiplexten Signale ohne optische Filter im optischen WDM-Kommunikationssystem verstärkt. Das Spektrum wird durch einen herkömmlichen Spektrumanalysator bereitgestellt. Wie dies zuvor angegeben wurde, ist der optische Signal-Rausch-Abstand der Wert der Leistung der optischen Nutzsignale, dividiert durch die entsprechende Rauschleistung. Das Rauschen kann jedoch nicht direkt gemessen werden, weil das Rauschen zusammen mit den optischen Signalen aufgenommen wird, wie dies in Fig. 1 dargestellt ist.

Fig. 2 ist eine graphische Darstellung, mit der veranschaulicht wird, wie der optische Signal-Rausch-Abstand der in Fig. 1 dargestellten Ausgangssignale gemessen wird. Um den Rauschabstand zu messen, wird zuerst ein Leistungsspektrum der mit dem optischen Verstärker verstärkten, gemultiplexten Signale aufgenommen. Im erhaltenen Spektrum wird A, die Spitzenleistung des optischen Signals 1, aufgesucht und a, b, die Rauschleistung in der Umgebung gemessen. Der Wert $(a+b)/2$, die mittlere Rauschleistung, wird berechnet und als Rauschleistung bei der Wellenlänge des optischen Signals 1 betrachtet. Dann wird der optische Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1 unter Verwendung von GLEICHUNG 1 berechnet.

GLEICHUNG 1

Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals

$$1 = \frac{A - (a + b) / 2}{(a + b) / 2}$$

Auf dieselbe Weise können die Rauschabstände für das optische Signal 2 und Signal 3 berechnet werden.

In einigen Fällen ist es jedoch unmöglich, den optischen Signal-Rausch-Abstand nach der oben in Fig. 2 angegebenen Methode zu messen. Fig. 3 erläutert diese Fälle und zeigt ein anderes Leistungsspektrum des Ausgangsstrahls, wenn optische Filter verwendet werden, um das Rauschen in optischen WDM-Kommunikationssystemen zu eliminieren. Bei dem in Fig. 2 gezeigten Verfahren sollte die Rauschleistung (a, b) in der Nachbarschaft der Wellenlänge höchster Strahlungsintensität bekannt sein, um den optischen Signal-Rausch-Abstand zu messen. In Fällen wie auf Fig. 3 kann das Verfahren nach Fig. 2 nicht angewendet werden, weil das Rauschen von den optischen Signalen auf einfache Art nicht zu unterscheiden ist.

Fig. 4 ist ein Blockdiagramm zur Lösung der Probleme und stellt eine Vorrichtung zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands dar, bei der eine Polarisationssteuereinrichtung und ein linearer Polarisator (LP) verwendet werden. Der optische Signal-Rausch-Abstand in Fig. 3 kann mit den Einrichtungen nach Fig. 4 gemessen werden. Die auf Fig. 4 dargestellte Einrichtung (400) zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstandes wurde veröffentlicht in "98 European Conference on Optical Communication, p. 549-550, 1998" unter dem Titel "Optical Signal-to-Noise Ratio Measurement in WDM networks using Polarization Extinction" von M. Rasztovits-Wiech, M. Danner, und W. R. Leeb.

In optischen Kommunikationssystemen werden im allgemeinen Laserdioden als Lichtquelle eingesetzt. Der Polarisationszustand des Ausgangsstrahls einer Laserdiode ist 100% linear polarisiert und die optischen Signale sind immer noch 100% polarisiert, sogar dann, wenn bei der Ausbreitung der Signale durch den Lichtleiter der Polarisationszustand verändert wird. Andererseits ist das aus einem optischen Verstärker stammende Rauschen zu 100% nichtpolarisiert, weil sich das Rauschen aus dem statistisch auftretenden Licht sämtlicher Polarisationszustände zusammensetzt.

Aus diesem Grunde ist es möglich, das interessierende Rauschen zu messen, wenn die verstärkten optischen Signale unter Verwendung einer Polarisationssteuereinrichtung (401) und eines LP (402) eliminiert werden. Die Polarisationssteuereinrichtung steuert die Polarisation des Eintrittsstrahles und der LP läßt nur die Komponente des Lichts passieren, die mit der Polarisationsachse zusammenfällt. Die zu 100% polarisierten optischen Signale können vollständig eliminiert werden; die Polarisationssteuereinrichtung 401 kann den Polarisationszustand der optischen Signale sogar steuern, nachdem die Signale den Lichtleiter passiert haben, und die Steuereinrichtung verändert die Polarisation der optischen Signale orthogonal zur Polarisationsachse des LP (402). Die Rauschleistung, die einen LP (402) passiert, wird jedoch immer auf die Hälfte reduziert, weil sich das Rauschen aus dem statistisch auftretenden Licht sämtlicher Polarisationszustände zusammensetzt.

Nach Fig. 4 tritt der Ausgangsstrahl (dargestellt in Fig. 1) des optischen Verstärkers in die Polarisationssteuereinrichtung (401) ein. Die Polarisationssteuereinrichtung wird so eingestellt, daß die Leistung der optischen Signale, die den LP (402) und das variable optische Bandfilter VOBPF (403) passieren und auf den Photoempfänger (404) treffen, einen Maximalwert annimmt und der Maximalwert wird gemessen. Dann wird die Polarisationssteuereinrichtung nachjustiert, um die Leistung am Photoempfänger (404) zu minimieren, und der Minimalwert wird gemessen. Das Verfahren wird für den gesamten Spektralbereich wiederholt, indem die Durchlaßwellenlänge des VOBPF (403) verändert wird.

Fig. 5(a) stellt ein Spektrum des Ausgangsstrahls in Fig. 1 dar, wenn die Leistung am Photoempfänger (404) maximiert wird, und Fig. 5(b) ist ein weiteres Spektrum, wenn die Leistung minimiert wird. In Fig. 5(a) ist die Spitzenleistung die Summe der Leistung D, der optischen Signale und der halben Rauschleistung d, während die Leistung in Fig. 5(b) gleich der Hälfte der ursprünglichen Rauschleistung ist. Damit erhält man den optischen Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1 unter Verwendung von GLEICHUNG 2:

GLEICHUNG 2

Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals

$$1 = \frac{D - d}{2 \times d}$$

Auf ähnliche Art und Weise läßt sich der Rauschabstand des optischen Signals 2 und des Signals 3 ermitteln.

Fig. 6 stellt ein Spektrum des Ausgangsstrahls nach Fig. 3 dar, wenn die Leistung am Photoempfänger (404) in Fig. 4 maximiert wird, und Fig. 6 stellt ein weiteres Spektrum dar, wenn die Leistung minimiert wird. In Fig. 6(a) ist die Spitzenleistung gleich der Summe der Leistung E, der optischen Signale und der halben Rauschleistung e, während die Leistung auf Fig. 6(b) die Hälfte der ursprünglichen Rauschleistung ist. Deshalb erhält man den optischen Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1 nach GLEICHUNG 3.

GLEICHUNG 3

Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals

$$1 = \frac{E - e}{2 \times e}$$

Auf ähnliche Art und Weise läßt sich der Rauschabstand des optischen Signals 2 und des Signals 3 ermitteln.

Die vorstehend auf Fig. 4 dargestellte Methode macht es jedoch erforderlich, daß die Polarisationssteuereinrichtung (401) justiert wird, um den Maximalwert und den Minimalwert der optischen Rauschleistung am Photoempfänger (404) für jede gegebene Wellenlänge zu finden. Und das Verfahren hat zwei Hauptprobleme; (1) lange Operationszeit, um den optischen Signal-Rausch-Abstand zu messen, und (2), eine komplizierte aktive Regelschaltung, um die Polarisationssteuereinrichtung (401) anzusteuern.

Zusammenfassung der Erfindung

Ein Ziel der Erfindung besteht darin, für optische Kommunikationssysteme eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands unter Verwendung Stokesscher Parameter zur Verfügung zu stellen. Mit der vorliegenden Erfindung können die oben angeführten Probleme gelöst werden.

Nach einem Ausführungsbeispiel der Erfindung wird eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands in optischen Kommunikationssystemen bereitgestellt. Die erfindungsgemäße Vorrichtung umfaßt (1) ein VOBPF, das den verstärkten Ausgangsstrahl passieren läßt, wenn die Wellenlänge des Ausgangsstrahls der Durchlaßwellenlänge des VOBPF entspricht; (2) einen 1x4-Strahlteiler, der den Strahl, der den VOBPF passiert, in vier Teilstrahlen aufteilt; (3) Meßeinrichtungen zum Messen der Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 aus den vier Teilstrahlen; (4) eine Recheneinrichtung zum Berechnen der optischen Signalleistung, um die Leistung der polarisierten Komponente des verstärkten Ausgangsstrahls aus den Stokesschen Parametern S1, S2, S3 zu bestimmen; (5) eine Recheneinrichtung zum Berechnen der Rauschleistung, um die Leistung des im verstärkten Ausgangsstrahl vorhandenen Rauschens aus dem Stokesschen Parameter S0 und der optischen Signalleistung zu bestimmen; und (6) eine Dividiereinrichtung, die aus der optischen Signalleistung und der Rauschleistung für die Durchlaßwellenlänge

Optische Signalleistung

Rauschleistung

berechnet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung mißt

Optische Signalleistung

Rauschleistung

5

für den gesamten Spektralbereich, indem die Durchlaßwellenlänge des VOBPF verändert wird und letztendlich wird der optische Signal-Rausch-Abstand eines optischen Signals dadurch gefunden, daß in der gemessenen graphischen Darstellung

10 Optische Signalleistung

Rauschleistung

der Spitzenwert gesucht wird.

In einer bevorzugten Vorrichtung umfaßt die Meßeinrichtung zum Messen der Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 weiterhin (1) eine lineare 0°-Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der linear polarisierten 0°-Komponente (PX) aus dem ersten Teilstrahl ermittelt wird; (2) eine lineare 90°-Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der linear polarisierten 90°-Komponente (PY) aus dem zweiten Teilstrahl ermittelt wird; (3) eine lineare 45°-Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der linear polarisierten 45°-Komponente (P45) aus dem dritten Teilstrahl ermittelt wird; (4) eine zirkulare Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der rechtsdrehend zirkular polarisierten Komponente (PRCP) aus dem vierten Teilstrahl ermittelt wird; und (5) eine Recheneinrichtung zum Berechnen der Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 aus der gemessenen Leistung PX, PY, P45, PRCP.

In einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel umfaßt die zirkulare Polarisationseinrichtung weiterhin (1) einen $\lambda/4$ -Verzögerer, der bewirkt, daß der Gangunterschied zwischen den beiden senkrecht aufeinanderstehenden Strahlen mit 0° und 90° linearer Polarisation gleich $\lambda/4$ wird, indem die Phase des Eingangsstrahles verzögert wird, und (2) einen 45°-LP, der lediglich die 45° linear polarisierte Komponente nach dem Verzögerer passieren läßt.

In einem weiteren besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel umfaßt die Recheneinrichtung zum Berechnen der Stokesschen Parameter weiterhin (1) ein erstes Addierwerk zum Berechnen des Stokesschen Parameters S0 durch Addieren der Leistungen PX und PY; (2) ein zweites Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S1 durch Subtrahieren der Leistung PY von PX berechnet; (3) einen ersten Multiplizierer, der die Leistung P45 mit dem Wert 2 multipliziert; (4) ein drittes Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S2 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S0 vom Ausgangswert des ersten Multiplizierers 2P45 berechnet; (5) einen zweiten Multiplizierer, der die Leistung PRCP mit 2 multipliziert; und (6) ein viertes Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S3 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S0 vom Ausgangswert des zweiten Multiplizierers 2PRCP berechnet.

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel kann das VOBPF mit einem variablen Fabry-Perot-Filter, einer eingebauten optischen Einrichtung mit Gittern oder einer mehrlagigen Dünnschicht ausgestattet sein.

Ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands in optischen Kommunikationssystemen umfaßt die folgenden 8 Schritte. (1) Einen ersten Schritt, in dem der verstärkte Ausgangsstrahl das VOBPF mit der Anfangswellenlänge durchläuft; (2) einen zweiten Schritt, in dem der im ersten Schritt hindurchgelassene Strahl in vier Teilstrahlen aufgeteilt wird; (3) einen dritten Schritt, in dem die Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 aus den vier Teilstrahlen berechnet werden; (4) einen vierten Schritt, in dem die optische Signalleistung durch Berechnen der Leistung der polarisierten Komponente des verstärkten Ausgangsstrahls aus den Stokesschen Parametern S1, S2, S3 bestimmt wird; (5) einen fünften Schritt, in dem die im verstärkten Ausgangsstrahl enthaltene Rauschleistung aus dem Stokesschen Parameter S0 und der optischen Signalleistung berechnet wird; (6) einen sechsten Schritt, in dem

45 Optische Signalleistung

Rauschleistung

der Durchlaßwellenlänge aus der optischen Signalleistung und der Rauschleistung berechnet wird; (7) einen siebenten Schritt, in dem

50 Optische Signalleistung

Rauschleistung

für den gesamten Spektralbereich gemessen dadurch gemessen wird, daß das Verfahren vom zweiten bis zum sechsten Schritt für jede Durchlaßwellenlänge des VOBPF wiederholt wird; und (8) einen achten Schritt, in dem der optische Signal-Rausch-Abstand eines optischen Signals ermittelt wird, indem in der gemessenen graphischen Darstellung

Optische Signalleistung

Rauschleistung

60

der Spitzenwert aufgesucht wird.

In einem bevorzugten Verfahren umfaßt der dritte Schritt weiterhin (1) einen ersten Teilschritt, in dem die Leistung PX, PY, P45, PRCP ermittelt wird; und (2) einen zweiten Teilschritt, in dem die Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 aus der gemessenen Leistung PX, PY, P45, PRCP berechnet werden.

65 In einem besonders bevorzugten Verfahren umfaßt der zweite Teilschritt weiterhin folgende vier Schritte. (1) Ermitteln des Stokesschen Parameters S0 durch Addieren der Leistungen PX und PY; (2) Ermitteln des Stokesschen Parameters S1 durch Subtrahieren der Leistung PY von PX; (3) Ermitteln des Stokesschen Parameters S2 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S0 von 2P45; und (4) Ermitteln des Stokesschen Parameters S3 durch Subtrahieren des Stokess-

chen Parameters S0 von 2PRCP.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Exemplarische Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand der Zeichnungen beschrieben, auf denen folgendes dargestellt ist: 5

Fig. 1 ist ein Ausgangsspektrum des Ausgangsstrahls, das mit einem herkömmlichen Spektrum-Analysator aufgenommen wurde, wenn der optische Verstärker die gemultiplexten Signale ohne optische Filter in optischen WDM-Kommunikationssystemen verstärkt;

Fig. 2 ist eine graphische Darstellung, die veranschaulicht, wie der optische Signal-Rausch-Abstand der auf Fig. 1 gezeigten Ausgangssignale gemessen wird; 10

Fig. 3 ist ein weiteres Leistungsspektrum des Ausgangsstrahls, wenn optische Filter eingesetzt werden, um in optischen WDM-Kommunikationssystemen das Rauschen zu entfernen;

Fig. 4 ist ein Blockdiagramm zur Darstellung einer herkömmlichen Einrichtung zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands unter Verwendung einer Polarisationssteuereinrichtung und eines linearen Polarisators; 15

Fig. 5(a) ist ein Spektrum eines Ausgangsstrahls in Fig. 1, wenn die Leistung am Photoempfänger (404) in Fig. 4 maximiert wird;

Fig. 5(b) ist ein weiteres Spektrum eines Ausgangsstrahls in Fig. 1, wenn die Leistung am Photoempfänger (404) in Fig. 4 minimiert wird;

Fig. 6(a) ist ein Spektrum des Ausgangsstrahls in Fig. 3, wenn die Leistung am Photoempfänger (404) in Fig. 4 maximiert wird; 20

Fig. 6(b) ist ein weiteres Spektrum des Ausgangsstrahls in Fig. 3, wenn die Leistung am Photoempfänger (404) in Fig. 4 minimiert wird;

Fig. 7 ist ein Blockdiagramm der Vorrichtung (700) zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands gemäß der Erfindung; 25

Fig. 8(a) und (b) zeigen mit einem herkömmlichen Spektrum-Analysator aufgenommene Leistungsspektren des verstärkten Ausgangsstrahls bei Verwendung optischer Filter in optischen WDM-Kommunikationssystemen;

Fig. 9(a) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der gemessenen Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3, wenn der Ausgangsstrahl von Fig. 8(b) in den VOBPF (701) in Fig. 7 eingeleitet wird;

Fig. 9(b) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der Rauschleistung zusätzlich zum Stokesschen Parameter S0; 30

Fig. 10(a) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der Leistung des polarisierten Strahles und der Rauschleistung;

Fig. 10(b) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der

Leistung des polarisierten Strahls

Rauschleistung

und

Fig. 11 ist ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands.

Erklärung der wichtigsten Symbole auf den Zeichnungen

700 Blockdiagramm der Vorrichtung zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands

701 Variables Optisches Bandfilter (VOBPF)

702 1x4-Strahlteiler

703 Linearer 0°-Polarisator (LP)

704 90°-LP

705, 707 45°-LP

706 $\lambda/4$ -Verzögerer

708, 709, 710, 711 Photoempfänger

713, 714, 716, 718, 720 Addierwerk

715, 717 Multiplizierer

719 Signalprozessor

721 Dividierer

Ausführliche Beschreibung der Ausführungsbeispiele

Die vorliegende Erfindung wird aus der nachfolgenden Beschreibung und den beigegeführten Ansprüchen anhand der Zeichnungen besser ersichtlich.

Fig. 7 ist ein Blockdiagramm der erfindungsgemäßen Vorrichtung (700) zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands. Die erfindungsgemäße Vorrichtung besteht aus einem VOBPF (701), einem 1x4-Strahlteiler (702), vier linearen Polarisatoren (703, 704, 705, 707), einem $\lambda/4$ -Verzögerer (706), vier Photoempfängern (708, 709, 710, 711), Addierwerken (713, 714, 716, 718, 720), zwei Multiplizierern (715, 717), einem Signalprozessor (719) und einem Dividierer (721). 60

Das VOBPF (701) läßt den verstärkten Ausgangsstrahl passieren, dessen Wellenlänge mit der gewählten Durchlaßwellenlänge des VOBPF übereinstimmt. Der 1x4-Strahlteiler (702) teilt den vom VOBPF hindurchgelassenen Strahl in vier Teilstrahlen auf und die Teilstrahlen werden in die 0°, 90°, 45°-Polarisatoren LP (703, 704, 705) und den $\lambda/4$ -Verzögerer (706) geleitet. Der 0°-LP (703) läßt nur den 0° linear polarisierten Strahl passieren, der 90°-LP (704) läßt nur den 90° linear polarisierten Strahl passieren und der 45°-LP (705) läßt nur den 45° linear polarisierten Strahl passieren. Nur 65

der rechtsdrehend, polarisierte Strahl passiert den $\lambda/4$ -Verzögerer (706) und den 45° -LP (707). Die Photoempfänger (708, 709, 710, 711) messen die Leistung (PX/4, PY/4, P45/4, PRCP/4) der zugehörigen Polarisationskomponente. Die Stokesschen Parameter S0/4, S1/4, S2/4, S3/4 können aus der gemessenen Leistung (PX/4, PY/4, P45/4, PRCP/4) mit den Addierwerken (713, 714, 716, 718) und den Multiplizierern (715, 717) berechnet werden.

5 Aus den berechneten Stokesschen Parametern (S1/4, S2/4, S3/4) generiert der Signalprozessor (719) den Wert

$$\frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{4}, \quad \frac{\text{Leistung des polarisierten Strahls}}{4}.$$

10

Anders gesagt, bedeutet dies, daß der Signalprozessor (719) die

$$\frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{4}$$

15

liefert. Die

$$\frac{\text{Rauschleistung}}{4}$$

20

erhält man aus dem Stokesschen Parameter S0 und die

$$\frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{4}$$

25

durch das Addierwerk (720) und der Dividierer (721) liefert schließlich

$$\frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{\text{Rauschleistung}}.$$

30

Die Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 sind wie folgt definiert:

S0 = Summe der Leistung des polarisierten Strahls und der Leistung des nichtpolarisierten Strahls,

S1 = PX (Leistung der 0° linear polarisierten Komponente) – PY (Leistung der 90° linear polarisierten Komponente),

35 S2 = P45 (Leistung der $+45^\circ$ linear polarisierten Komponente) – P-45 (Leistung der -45° linear polarisierten Komponente),

S3 = PRCP (Leistung der rechtsdrehend zirkular polarisierten Komponente) – PLCP (Leistung der linksdrehend zirkular polarisierten Komponente).

40 Weil jeweils die (0° linear polarisierte und die 90° linear polarisierte Komponente), die (45° linear polarisierte und die -45° linear polarisierte Komponente) und die (rechtsdrehend zirkular polarisierte und die linksdrehend zirkular polarisierte Komponente) einen vollständigen orthogonalen Satz darstellen, gelten die nachfolgenden Gleichungen:

GLEICHUNG 3

$$S0 = PX + PY = P45 + P-45 = PRCP + PLCP$$

$$45 \quad S1 = PX - PY = PX - (S0 - PX) = 2 PX - S0$$

$$S2 = P45 - P-45 = P45 - (S0 - P45) = 2 P45 - S0$$

$$S3 = PRCP - PLCP = PRCP - (S0 - PRCP) = 2 PRCP - S0$$

50 Die optischen Signale sind 100% polarisiert und das Verstärkerrauschen ist 100% nichtpolarisiert. Deshalb kann der optische Signal-Rausch-Abstand unter Verwendung von GLEICHUNG 4 bestimmt werden:

GLEICHUNG 4

Leistung des optischen Signals = Leistung der polarisierten Komponente

55

$$= \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

Rauschleistung = Leistung des nichtpolarisierten Strahls = Gesamtleistung – Leistung des optischen Signals

60

65

$$= S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}$$

$$\therefore \text{Signal-Rausch-Abstand} = \frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{\text{Rauschleistung}}$$

$$= \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}{S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2}}$$

Dieses Verfahren zum Bestimmen der Leistung des optischen Signals aus den Stokesschen Parametern ist beschrieben in "Principles of Optics Electromagnetic Theory of Propagation, Interference and Diffraction of Light" von Max Born und Emil Wolf, 6th Ed., PERGAMON PRESS, pp. 554-555 und in "Hewlett Packard Product Note 8509-1, "Polarization Measurement of Signals and Components", pp. 5.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist nunmehr folgende Funktionen auf. Zuerst wird die Durchlaßwellenlänge des VOBPF (701) auf die Anfangswellenlänge im Spektrum des Ausgangsstrahls eingestellt. Dann passiert nur der Strahl, dessen Wellenlänge der Durchlaßwellenlänge des VOBPF entspricht, den VOBPF (701) und erreicht den 1x4-Strahlteiler (702). Der hindurchgelassene Strahl wird durch den 1x4-Strahlteiler (702) in vier Teilstrahlen aufgeteilt und die aufgeteilten Strahlen werden in den 0°-LP (703), 90°-LP (704), 45°-LP (705) und den $\lambda/4$ -Verzögerer (706) geleitet.

Nur die 0° linear polarisierte Komponente passiert den 0°-LP (703) und erreicht den Photoempfänger (708). Somit ist der Ausgangswert des Photoempfängers (708) gleich PX/4 des Ausgangsstrahls, der VOBPF (701) passiert. Entsprechend sind die Ausgangswerte der Photoempfänger 709 und 710 gleich PY/4 bzw. P45/4 des Ausgangsstrahls, der den VOBPF (701) passiert.

Der $\lambda/4$ -Verzögerer (706) verzögert die Phase der 90° linear polarisierten Komponente und bewirkt, daß der Gangunterschied zur 0° linear polarisierten Komponente gleich $\lambda/4$ wird. Deshalb wird die rechtsdrehend zirkular polarisierte Komponente am $\lambda/4$ -Verzögerer (706) in die 45° linear polarisierte Komponente umgewandelt und zum 45°-LP (707) geleitet. Folglich passiert nur die rechtsdrehend zirkular polarisierte Komponente den $\lambda/4$ -Verzögerer (706) und den 45°-LP (707) und erreicht den Photoempfänger (711). Somit ist der Ausgangswert am Photoempfänger (711) gleich PRCP/4 des Ausgangsstrahls, der den VOBPF (701) passiert.

S0/4 erhält man dadurch, daß das Addierwerk (713) die Werte PX und PY addiert. S1/4 erhält man dadurch, daß das Addierwerk (714) den Wert PY von PX subtrahiert. S2/4 erhält man dadurch, daß der Multiplizierer (715) den Wert 2 mit P45/4 multipliziert und daß das Addierwerk (716) den Wert S0/4 vom Wert P45/2 subtrahiert. S3/4 erhält man dadurch, daß der Multiplizierer (717) den Wert 2 mit PRCP/4 multipliziert und daß das Addierwerk (718) den Wert S0/4 von PRCP/2 subtrahiert.

Der Signalprozessor (719) erzeugt den Wert

$$\frac{\text{Leistung des polarisierten Strahls}}{4}$$

aus den berechneten Stokesschen Parametern (S1/4, S2/4, S3/4). Die Leistung des polarisierten Strahls (das heißt, die Leistung des optischen Signals) ist gleich

$$\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2},$$

wie in GLEICHUNG 4. Die

$$\frac{\text{Rauschleistung}}{4}$$

erhält man dadurch, daß das Addierwerk (720) den Wert

$$\frac{\text{Leistung des polarisierten Strahls}}{4}$$

von S0/4 subtrahiert. Folglich ist die Rauschleistung gleich

$$S_0 - \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2},$$

wie in GLEICHUNG 4. Letztendlich erhält man

$$\frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{\text{Rauschleistung}}$$

$$\frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{\text{Rauschleistung}}$$

dadurch, daß der Dividierer (721)

Leistung des Optischen Signals

4

5 durch

Rauschleistung

4

10 dividiert.

Das Verfahren wird wiederholt, um den optischen Signal-Rausch-Abstand

$$\left(\frac{\text{Leistung des Optischen Signals}}{\text{Rauschleistung}} \right)$$

15

zu finden, indem die Durchlaßwellenlänge des VOBPF (701) bei jedem Schritt um eine Einheit vergrößert wird, bis die Durchlaßwellenlänge die letzte Wellenlänge des Spektrums ist. Und der optische Signal-Rausch-Abstand eines optischen Signals in optischen WDM-Kommunikationssystemen wird durch Aufsuchen des Spitzenwertes aus der gemessenen graphischen Darstellung

20

Leistung des Optischen SignalsRauschleistung

bestimmt.

25

Fig. 8(a) und (b) zeigen mit einem herkömmlichen Spektrum-Analysator aufgenommene Leistungsspektren des verstärkten Ausgangsstrahls bei Verwendung optischer Filter in optischen WDM-Kommunikationssystemen. In Fig. 8(a) existieren keine optischen Signale und nur das Rauschen aus dem Verstärker passiert die optischen Filter. Diese Art eines Spektrums tritt auf, wenn das Hintergrundrauschen optische Filter passiert. Andererseits sind in Fig. 8(b) optische Signale vorhanden, bei denen die Position der Wellenlänge höchster Strahlungsintensität mit dem linken breiten Spitzenwert der Durchlaßkurve der optischen Filter zusammenfällt. Die optische Signalleistung beträgt das 9,66fache der korrespondierenden Rauschleistung und der optische Signal-Rausch-Abstand beträgt in diesem Falle 9,85 dB (= 10 log₁₀ 9,66).

30

Fig. 9(a) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der gemessenen Stokesschen Parameter S₀, S₁, S₂, S₃, wenn der Ausgangsstrahl von Fig. 8(b) in den VOBPF (701) in Fig. 7 eingeleitet wird. Und Fig. 9(b) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der Rauschleistung zusätzlich zum Stokesschen Parameter S₀.

35

Fig. 10(a) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der Leistung des polarisierten Strahles und der Rauschleistung und Fig. 10(b) zeigt die Wellenlängenabhängigkeit der

Leistung des polarisierten Strahls

40

Rauschleistung

Wie dies auf Fig. 10(b) dargestellt ist, beträgt der Spitzenwert etwa 10 dB und er fällt mit dem Wert (9,85 dB) in Fig. 8(b) zusammen.

45

Offensichtlich kann das oben angegebene Verfahren angewandt werden, um den optischen Signal-Rausch-Abstand für den Ausgangsstrahl nach Fig. 1 zu messen, wenn der optische Verstärker die gemultiplexten Signale ohne optische Filter in optischen WDM-Kommunikationssystemen verstärkt.

50

Fig. 11 ist ein Flußdiagramm des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands. Zuerst wird die Durchlaßwellenlänge des VOBPF (701) auf die Anfangswellenlänge im Spektrum des Ausgangsstrahls (S101) eingestellt. Der Strahl, der den VOBPF (701) passiert, wird in vier Teilstrahlen (S102) aufgeteilt. Aus dem Teilstrahl (S103) wird die Leistung PX, PY, P45, PRCP ermittelt. Die Stokesschen Parameter S₀, S₁, S₂, S₃ werden aus der gemessenen Leistung PX, PY, P45, PRCP (S104) ermittelt. Die Leistung des polarisierten Strahles,

$$\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + S_3^2},$$

55

wird aus den Stokesschen Parametern S₁, S₂, S₃ (S105) berechnet. Die Rauschleistung wird berechnet, indem die Leistung des polarisierten Strahles von S₀ (S106) subtrahiert wird. Die Leistung des polarisierten Strahles wird durch die Rauschleistung (S107) dividiert. Die aktuelle Durchlaßwellenlänge des VOBPF (701) wird mit der letzten Wellenlänge im Spektrum des Ausgangsstrahls (S108) verglichen. Wenn die aktuelle Durchlaßwellenlänge des VOBPF (701) nicht größer als die letzte Wellenlänge im Spektrum des Ausgangsstrahls ist, wird die Durchlaßwellenlänge um eine Einheit (S109) vergrößert und es wird zu Schritt S102 übergegangen. Wenn die aktuelle Durchlaßwellenlänge des VOBPF (701) größer als die letzte Wellenlänge im Spektrum ist, wird der optische Signal-Rausch-Abstand eines optischen Signals gemessen, indem der Spitzenwert aus den Ergebnissen des Schrittes S107 (S110) aufgesucht wird. Dieser Spitzenwert stellt den gesuchten optischen Signal-Rausch-Abstand dar.

60

Die erfindungsgemäße Vorrichtung erzeugt folgende Wirkungen: erstens kann man, weil die Messung des optischen Signal-Rausch-Abstands unter Verwendung der Stokesschen Parameter des Ausgangsstrahls ohne die Polarisationssteuereinrichtung und die komplizierte aktive Schaltung, die zur Ansteuerung der Polarisationssteuereinrichtung erforderlich ist, erfolgt, den optischen Signal-Rausch-Abstand schnell messen. Zweitens ist die genauere Messung des optischen Signal-Rausch-Abstands mit einer einfachen Hardwareausstattung möglich.

65

Obwohl die Erfindung anhand der oben genannten bevorzugten Ausführungsbeispiele beschrieben wurde, sind zahlreiche Ausgestaltungen möglich. Folglich sind Abwandlungen und Modifikationen wie die oben genannten möglich, jedoch nicht auf diese beschränkt, ohne den Rahmen der nachfolgenden Ansprüche zu verlassen.

Patentansprüche

5

1. Vorrichtung zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands in optischen Kommunikationssystemen, mit:
 einem variablen optischen Bandfilter (VOBPF), das einen verstärkten Ausgangsstrahl passieren läßt, wenn die Wellenlänge des Ausgangsstrahls identisch mit der Durchlaßwellenlänge des VOBPF ist;
 einem 1x4-Strahlteiler, der den Strahl, der den VOBPF passiert, in vier Teilstrahlen aufteilt;
 einer Meßeinrichtung zum Messen der Stokesschen Parameter S_0 , S_1 , S_2 , S_3 aus den vier Teilstrahlen;
 einer Recheneinrichtung zum Berechnen der optischen Signalleistung, um die Leistung der polarisierten Komponente des verstärkten Ausgangsstrahls aus den Stokesschen Parametern S_1 , S_2 , S_3 zu bestimmen;
 einer Recheneinrichtung zum Berechnen der Rauschleistung, um die Leistung des im verstärkten Ausgangsstrahl enthaltenen Rauschens aus dem Stokesschen Parameter S_0 und der optischen Signalleistung zu bestimmen; und
 einer Dividiereinrichtung, die aus der optischen Signalleistung und der Rauschleistung für die Durchlaßwellenlänge die

10

15

Optische Signalleistung

Rauschleistung

20

berechnet.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Meßeinrichtung zum Messen der Stokesschen Parameter S_0 , S_1 , S_2 , S_3 weiter umfaßt:

eine lineare 0°-Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der linear polarisierten 0°-Komponente (PX) aus dem ersten Teilstrahl ermittelt wird;

25

eine lineare 90°-Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der linear polarisierten 90°-Komponente (PY) aus dem zweiten Teilstrahl ermittelt wird;

eine lineare 45°-Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der linear polarisierten 45°-Komponente (P45) aus dem dritten Teilstrahl ermittelt wird;

30

eine zirkulare Polarisationseinrichtung, mit der die Leistung der rechtsdrehend zirkular polarisierten Komponente (PRCP) aus dem vierten Teilstrahl ermittelt wird; und

eine Recheneinrichtung zum Berechnen der Stokesschen Parameter, mit der die Stokesschen Parameter S_0 , S_1 , S_2 , S_3 aus der gemessenen Leistung PX, PY, P45, PRCP berechnet werden.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die zirkulare Polarisationseinrichtung weiterhin umfaßt:
 einen $\lambda/4$ -Verzögerer, der bewirkt, daß der Gangunterschied zwischen den beiden senkrecht aufeinanderstehenden Strahlen mit 0° und 90° linearer Polarisation gleich $\lambda/4$ wird, indem die Phase des Eingangsstrahles verzögert wird; und

35

eine lineare 45°-Polarisationseinrichtung, die lediglich die 45° linear polarisierte Komponente nach dem Verzögerer passieren läßt.

40

4. Vorrichtung nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Recheneinrichtung zum Berechnen der Stokesschen Parameter weiterhin umfaßt:

ein erstes Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S_0 durch Addieren der Leistungen PX und PY berechnet;

ein zweites Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S_1 durch Subtrahieren der Leistung PY von PX berechnet;

einen ersten Multiplizierer, der die Leistung P45 mit dem Wert 2 multipliziert;

45

ein drittes Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S_2 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S_0 vom Ausgangswert des ersten Multiplizierers, $2P_{45}$ berechnet;

einen zweiten Multiplizierer, der die Leistung PRCP mit 2 multipliziert; und

ein viertes Addierwerk, das den Stokesschen Parameter S_3 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S_0 vom Ausgangswert des zweiten Multiplizierers, $2PRCP$, berechnet.

50

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das VOBPF ein variables Fabry-Perot-Filter ist.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das VOBPF eine integrierte optische Einrichtung mit Beugungsgittern ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei das VOBPF eine mehrlagige Dünnschicht ist.

8. Verfahren zum Messen des optischen Signal-Rausch-Abstands in optischen Kommunikationssystemen, das folgende Schritte umfaßt:

55

einen ersten Schritt, in dem der verstärkte Ausgangsstrahl ein variables optisches Bandfilter (VOBPF) mit einer Anfangswellenlänge passiert;

einen zweiten Schritt, in dem der im ersten Schritt hindurchgelassene Strahl in vier Teilstrahlen geteilt wird;

einen dritten Schritt, in dem die Stokesschen Parameter S_0 , S_1 , S_2 , S_3 aus den vier Teilstrahlen berechnet werden;

einen vierten Schritt, in dem die optische Signalleistung durch Berechnen der Leistung der polarisierten Komponente des verstärkten Ausgangsstrahls aus den Stokesschen Parametern S_1 , S_2 , S_3 berechnet wird;

60

einen fünften Schritt, in dem die im verstärkten Ausgangsstrahl enthaltene Rauschleistung aus dem Stokesschen Parameter S_0 und der optischen Signalleistung berechnet wird;

einen sechsten Schritt, in dem

65

Optische Signalleistung

Rauschleistung

der Durchlaßwellenlänge aus der optischen Signalleistung und der Rauschleistung berechnet wird;
einen siebenten Schritt, in dem

Optische Signalleistung

5

Rauschleistung

für den gesamten Spektralbereich dadurch gemessen wird, daß das Verfahren vom zweiten bis zum sechsten Schritt
für jede Durchlaßwellenlänge des VOBPF wiederholt wird; und
einen achten Schritt, in dem der optische Signal-Rausch-Abstand eines optischen Signals ermittelt wird, indem in
der gemessenen graphischen Darstellung

10

Optische Signalleistung

Rauschleistung

15

der Spitzenwert gesucht wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der dritte Schritt weiterhin folgende Teilschritte umfaßt:

einen ersten Teilschritt, in dem die Leistung der 0° linear polarisierten Komponente (PX), die Leistung der 90° linear polarisierten Komponente (PY), die Leistung der 45° linear polarisierten Komponente (P45), die Leistung der rechtsdrehend zirkular polarisierten Komponente (PRCP) ermittelt wird; und

20

einen zweiten Teilschritt, in dem die Stokesschen Parameter S0, S1, S2, S3 aus der gemessenen Leistung PX, PY, P45, PRCP berechnet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, wobei der zweite Teilschritt weiterhin folgende Schritte umfaßt:

Ermitteln des Stokesschen Parameters S0 durch Addieren der Leistungen PX und PY;

Ermitteln des Stokesschen Parameters S1 durch Subtrahieren der Leistung PY von PX;

25

Ermitteln des Stokesschen Parameters S2 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S0 von 2P45; und

Ermitteln des Stokesschen Parameters S3 durch Subtrahieren des Stokesschen Parameters S0 von 2PRCP.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

30

35

40

45

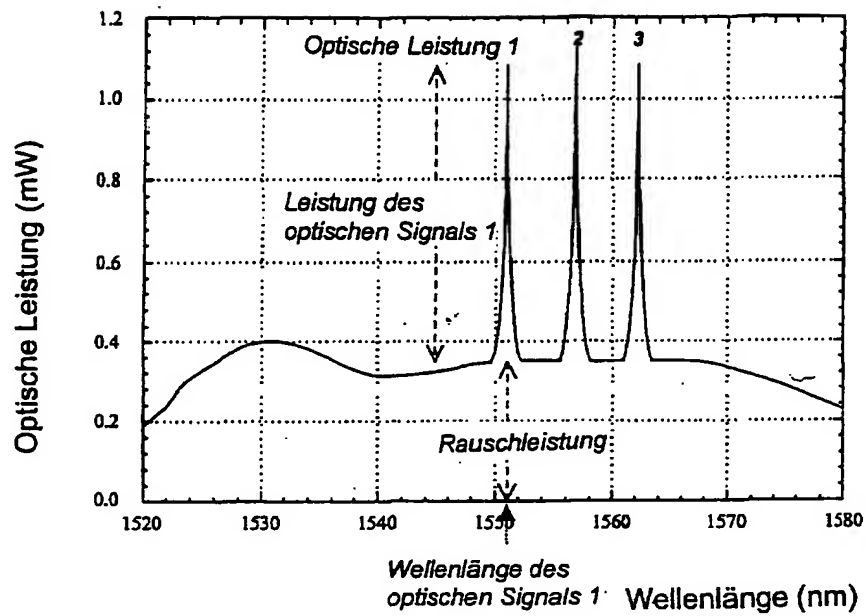
50

55

60

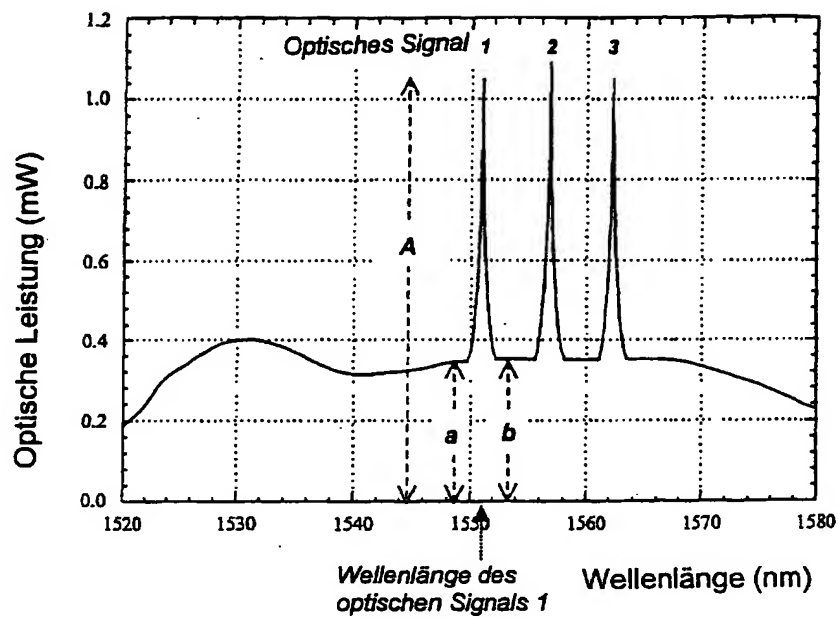
65

- Leerseite -



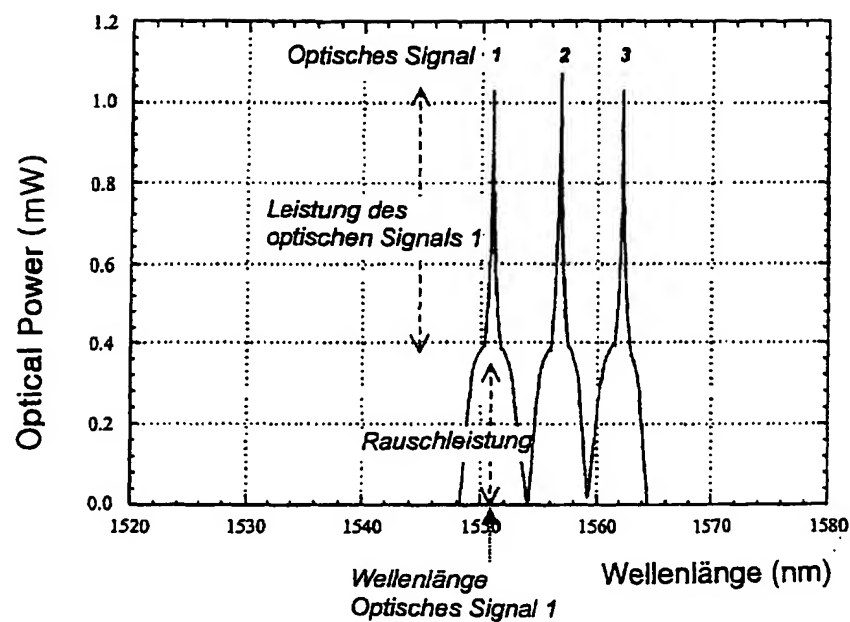
$$\text{Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1} = \frac{\text{Leistung des optischen Signals 1}}{\text{Rauschleistung bei der Wellenlänge des optischen Signals 1}}$$

FIG. 1



$$\text{Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1} = \frac{\text{Leistung des optischen Signals 1}}{\text{Durchschnittswert der Leistungen a und b}} = \frac{A - (a + b) / 2}{(a + b) / 2}$$

FIG. 2



$$\text{Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1} = \frac{\text{Leistung des optischen Signals 1}}{\text{Rauschleistung bei der Wellenlänge des optischen Signals 1}}$$

FIG. 3

FIG. 4

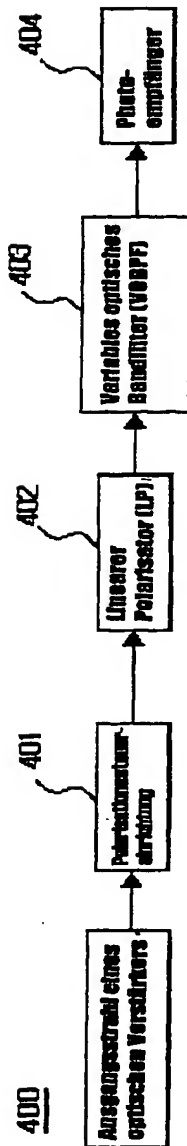
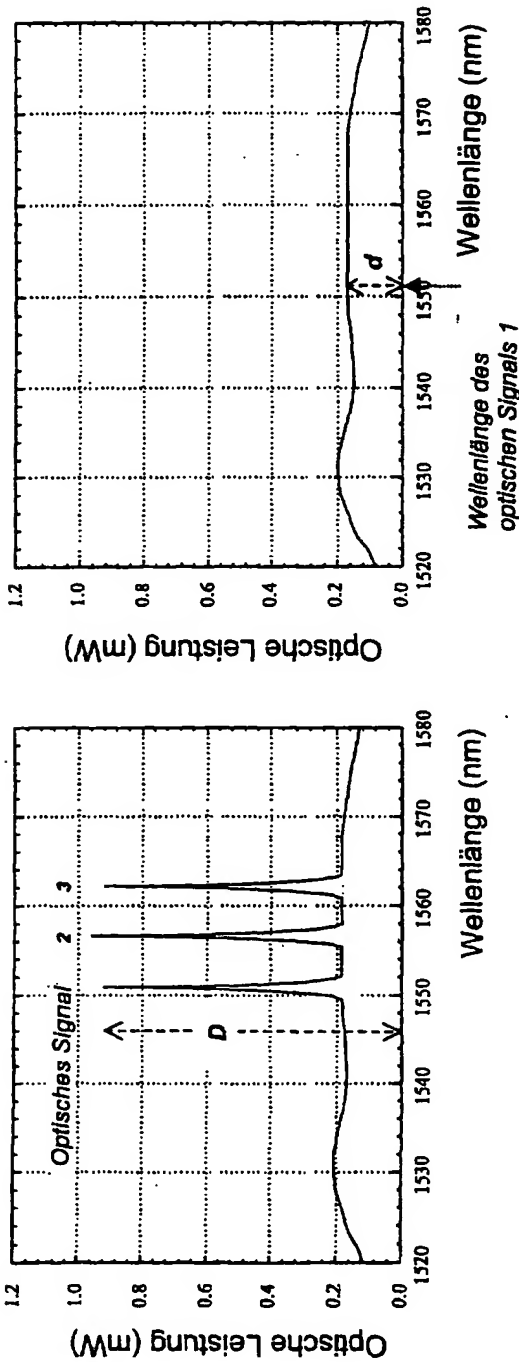


FIG. 5



(a)

(b)

Optischer Signal-Rausch-Abstand des optischen Signals 1 = $\frac{\text{Leistung des optischen Signals 1}}{\text{Rauschleistung bei der Wellenlänge des optischen Signals 1}}$ = $\frac{D-d}{2 \times d}$

FIG. 6

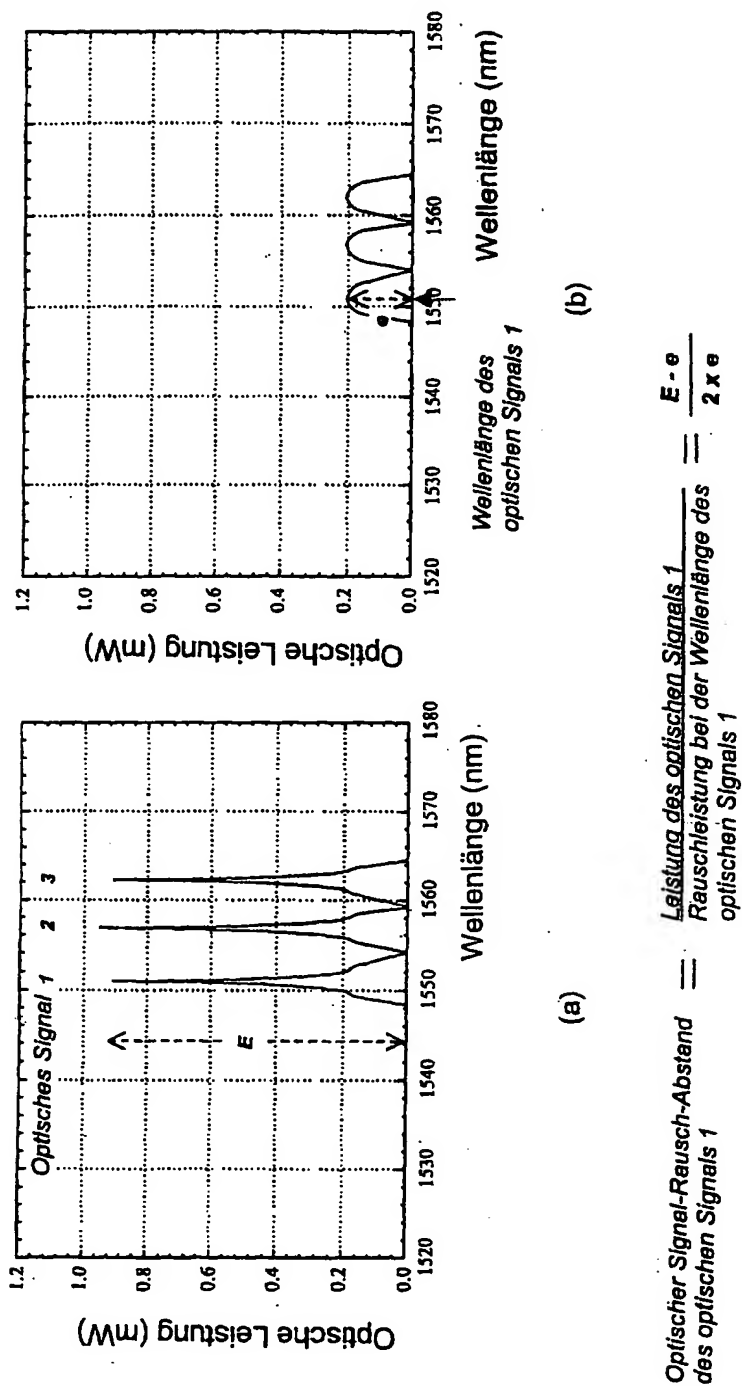


FIG. 8

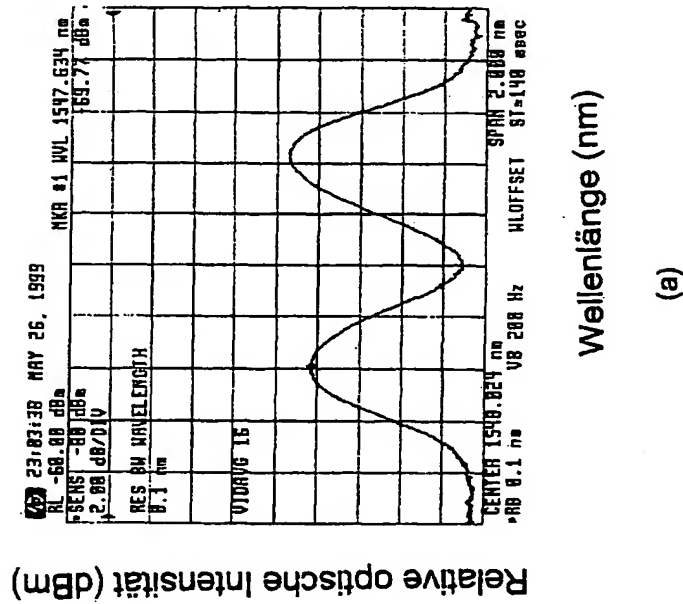
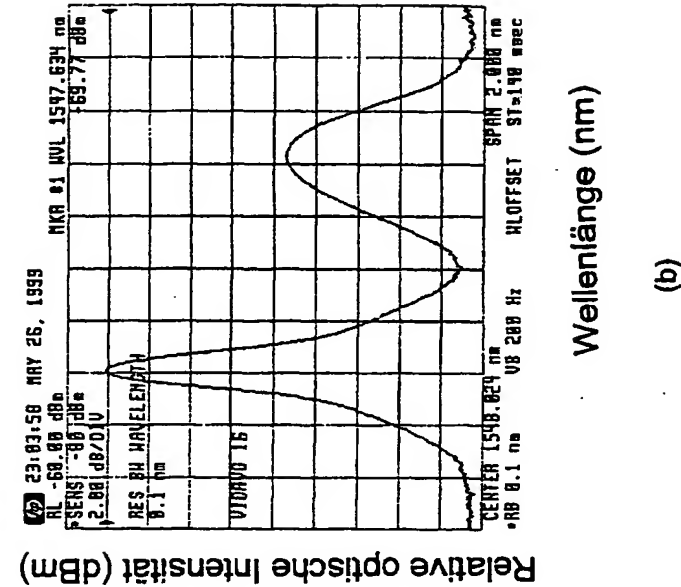


FIG. 9

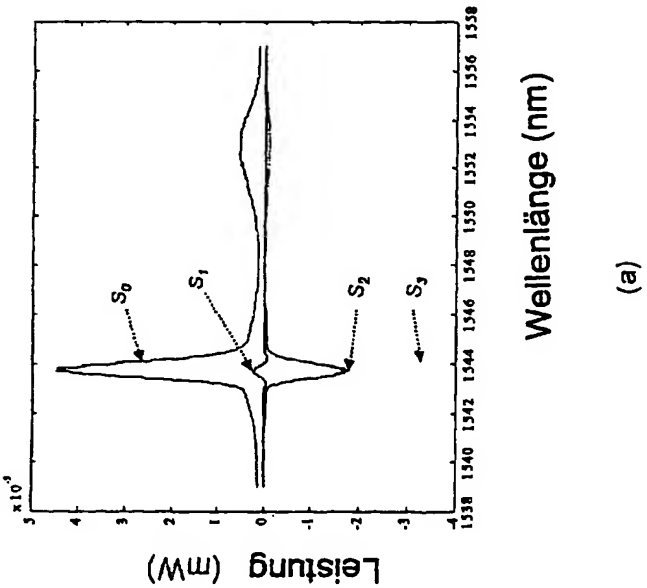
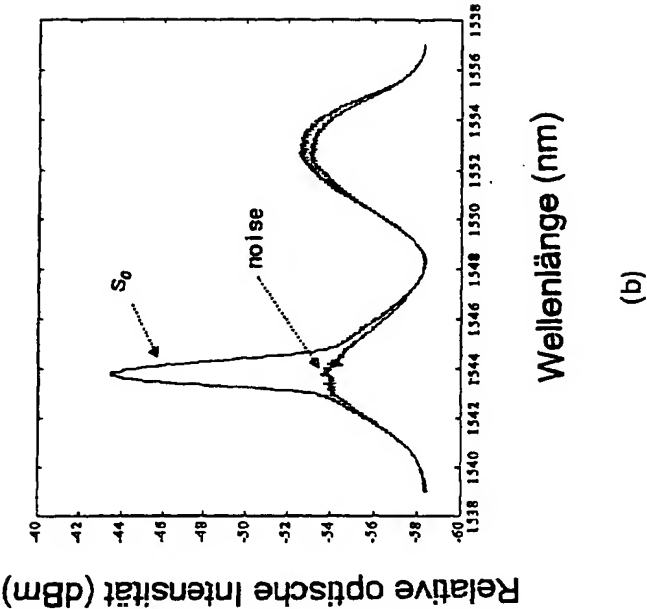
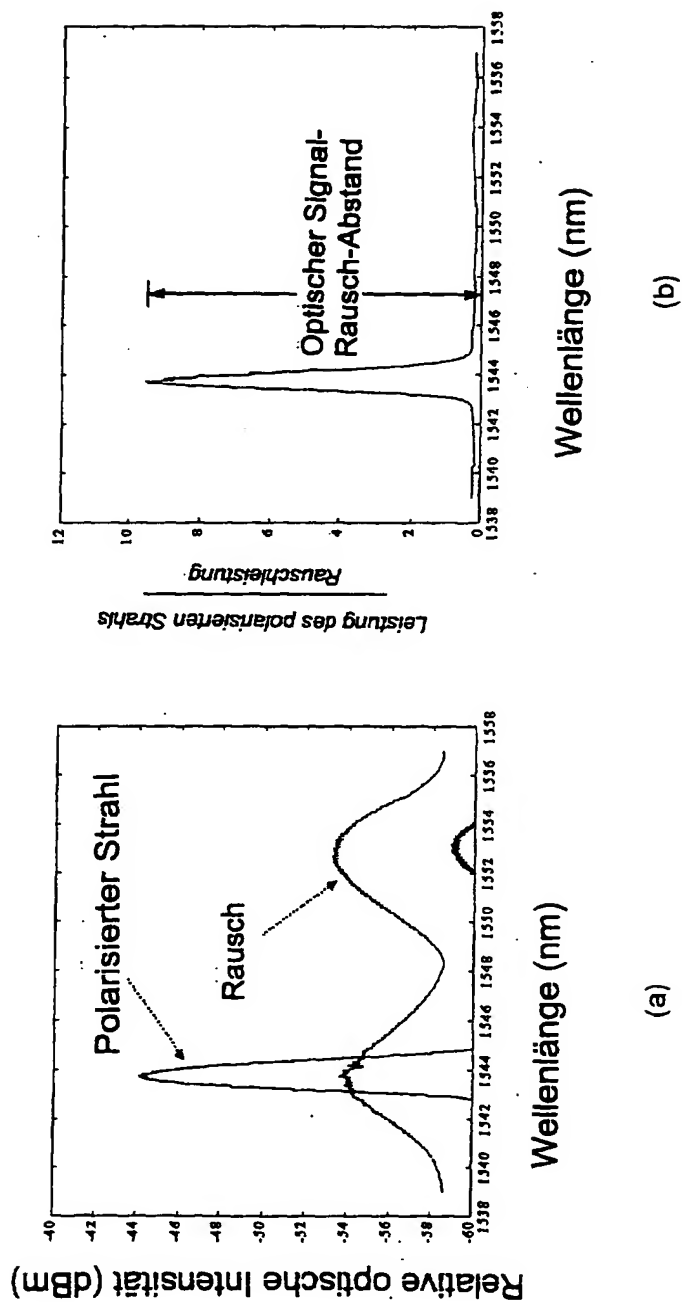


FIG. 10



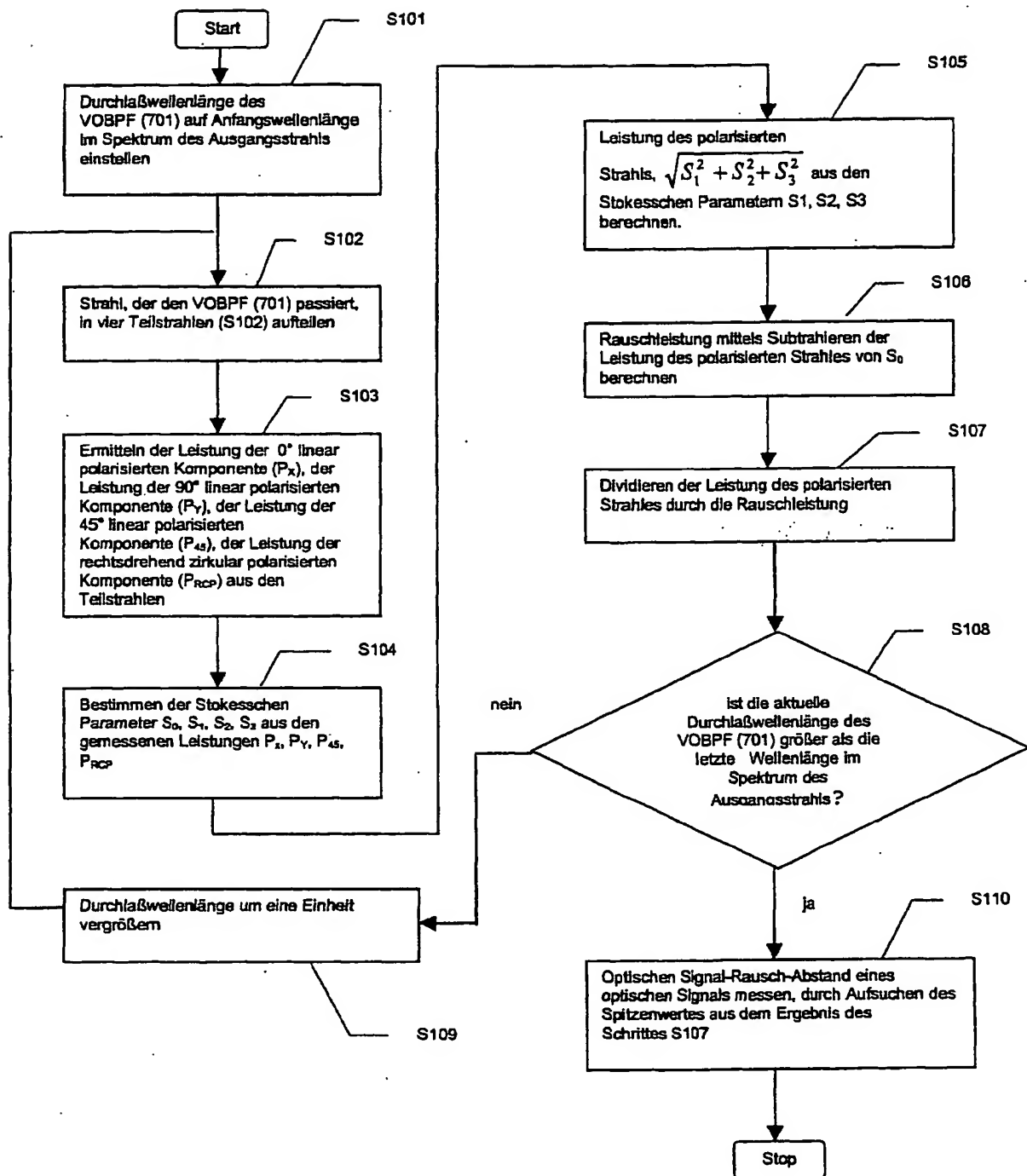


FIG. 11